

540,079

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
15 juillet 2004 (15.07.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/059221 A1**(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : F25B 21/00(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/CH2003/000839(22) Date de dépôt international :  
22 décembre 2003 (22.12.2003)

(25) Langue de dépôt : français

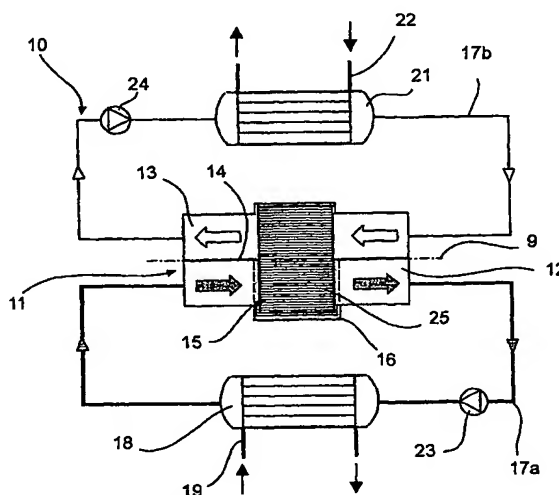
(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
2211/02 24 décembre 2002 (24.12.2002) CH(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : ECOLE  
D'INGENIEURS DU CANTON DE VAUD [CH/CH];  
Route de Cheseaux 1, CH-1400 Yverdon-les-Bains (CH).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : KI-  
TANOVSKI, Andrej [SI/CH]; Route de Cheseaux 1,  
CH-1400 Yverdon-les-Bains (CH). EGOLF, Peter,  
Williams [CH/CH]; Alle Wildeggerstrasse 5, CH-5702  
Niederlenz (CH). SARI, Osmann [DZ/CH]; Route du  
Chasseur 42, CH-1008 Prilly (CH).(74) Mandataire : NITHARDT, Roland; Cabinet Roland  
Nithardt, Conseils en Propriété Industrielle S.A., Y-Parc /  
Rue Galilée 9, CH-1400 Yverdon-les-Bains (CH).(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,  
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,  
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,  
MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CONTINUOUS GENERATION OF COLD AND HEAT BY MEANS OF THE MAG-  
NETO-CALORIFIC EFFECT(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF POUR GENERER EN CONTINU DU FROID ET DE LA CHALEUR PAR EFFET MA-  
GNETO-CALORIQUE

(57) Abstract: The device (10) for continuous generation of cold and heat by means of the magneto-calorific effect, comprises a chamber (11), divided into two adjacent compartments (12, 13), separated by a wall (14). The chamber (11) contains a rotating element (15) made from at least one magneto-calorific material, a first circuit (17a) with a first heat exchange fluid circulating therein and a second circuit (17b) with a second heat exchange fluid circulating therein. The chamber (11) is connected to magnetic means (16) for generating a magnetic field in the region of the compartment (12) in which the rotating element (15) is located. When the above is set in rotation the part thereof located in the first compartment (12) is magnetised on undergoing an increase in temperature. On passing into the second compartment (13), said part is demagnetised on undergoing a cooling. The heat and the cold thus generated are transmitted by means of the heat exchange fluids respectively to user circuits for heat (19) and cold (22) for recovery and use for ulterior purposes.

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/059221 A1



SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,  
US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

(84) États désignés (*régional*) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

(57) Abrégé : Le dispositif (10) pour générer en continu du froid et de la chaleur par effet magnéto-calorique, comporte une enceinte (11) divisée en deux compartiments (12, 13) juxtaposés et séparés par une cloison (14), l'enceinte (11) contenant un élément rotatif (15) en au moins un matériau magnéto-calorique, un premier circuit (17a), dans lequel circule un premier fluide caloporteur et un second circuit (17b) dans lequel circule un second fluide caloporteur. L'enceinte (11) est associée à des moyens magnétiques (16) pour générer un champ magnétique dans la zone du compartiment (12) où est situé l'élément rotatif (15). Lorsque celui-ci est mis en rotation, sa partie située dans le premier compartiment (12) se magnétise en subissant une élévation de température. En passant dans le second compartiment (13), cette partie se démagnétise en subissant un refroidissement. La chaleur et le froid ainsi générés sont transmis par les fluides caloporteurs respectivement aux circuits d'utilisation de chaleur (19) et de froid (22) en vue de leur récupération pour une utilisation ultérieure.

8/10/05  
JC20 Rec'd PCT/PTO 23 JUN 2005**PROCEDE ET DISPOSITIF POUR GENERER EN CONTINU DU FROID ET DE LA CHALEUR PAR EFFET MAGNETO-CALORIQUE****Domaine technique**

5 La présente invention concerne un procédé pour générer en continu du froid et de la chaleur par effet magnéto-calorique à travers au moins un échangeur de chaleur.

Elle concerne également un dispositif pour générer en continu du froid et de la  
10 chaleur par effet magnéto-calorique comportant au moins un échangeur de chaleur.

**Technique antérieure**

Les dispositifs conventionnels de génération du froid comportent  
15 habituellement un compresseur pour comprimer un réfrigérant afin d'élever sa température et des moyens de détente pour décompresser ce réfrigérant afin de le refroidir adiabatiquement. Il se trouve que les réfrigérants couramment utilisés sont extrêmement polluants et leur utilisation comporte des risques de pollution atmosphérique importants. De ce fait, ces réfrigérants ne répondent  
20 plus aux exigences actuelles en matière d'environnement.

On connaît déjà des dispositifs utilisant l'effet magnétique pour générer du froid. En particulier le brevet US 4674 288 décrit un dispositif de liquéfaction de l'hélium comprenant une substance magnétisable mobile dans un champ  
25 magnétique généré par une bobine et un réservoir contenant de l'hélium et en conduction thermique avec ladite bobine. Le mouvement de translation de la substance magnétisable génère du froid qui est transmis à l'hélium par l'intermédiaire d'éléments conducteurs.

30 La publication FR-A-2.525.748 a pour objet un dispositif de réfrigération magnétique comprenant une matière magnétisable, un système de génération d'un champ magnétique variable et des moyens de transfert de la chaleur et du

froid comportant une chambre remplie d'un réfrigérant liquide saturé. La matière magnétisable génère du froid dans une position dans laquelle les moyens de transfert de froid extraient le froid de la matière magnétisable par condensation d'un réfrigérant, et la matière magnétisable génère de la chaleur dans une autre position dans laquelle les moyens de transfert de chaleur extraient la chaleur de la matière magnétisable par ébullition d'un autre réfrigérant.

La publication FR-A- 2.586.793 décrit un dispositif comportant une substance destinée à produire de la chaleur lorsqu'elle se magnétise et à produire du froid lorsqu'elle se démagnétise, un moyen de génération d'un champ magnétique variable, ledit moyen générateur de champ magnétique comportant une bobine supraconductrice et un réservoir contenant un élément à refroidir.

L'efficacité de tels systèmes est extrêmement faible et ne peut pas rivaliser avec les systèmes de réfrigération actuels.

Le brevet US 3,108,444 décrit un appareil réfrigérateur magnéto-calorique comportant une roue composée d'éléments supraconducteurs passant alternativement dans un circuit chaud, dans un circuit froid et dans un espace soumis à un champ magnétique. Le but de cet appareil est de générer des températures extrêmement basses, de l'ordre de 4° Kelvin. Ce type d'équipement n'est pas adapté à une installation domestique et ne fonctionne pas à des températures ambiantes ou voisines de 0° Celsius.

25

Le brevet US 5'091'361 a pour objet une pompe à chaleur utilisant un effet magnéto-calorique inverse. La pompe à chaleur comporte un matériau paramagnétique ou ferromagnétique exposé alternativement à un champ magnétique très élevé. Un tel système ne peut pas être utilisé pour une application domestique, par exemple dans une installation frigorifique classique travaillant à des températures voisines de 0° Celsius.

30

## Exposé de l'invention

La présente invention se propose de pallier les inconvénients des systèmes connus en offrant un procédé et un dispositif de refroidissement qui n'utilisent pas de fluides réfrigérants polluants et qui ne présentent donc pas les  
5 inconvénients des systèmes antérieurs.

Ce but est atteint par le procédé selon l'invention tel que défini en préambule et caractérisé en ce que l'on fait circuler un premier fluide caloporteur dans un premier circuit, dit circuit chaud, connecté à un premier compartiment d'une  
10 enceinte contenant un élément rotatif et un second fluide caloporteur dans un second circuit, dit circuit froid, connecté à un second compartiment de ladite enceinte, lesdits compartiments étant juxtaposés et séparés par une cloison, ladite enceinte étant associée à des moyens magnétiques pour générer un champ magnétique dans ledit premier compartiment, au moins dans la zone  
15 correspondant audit élément rotatif et ledit élément rotatif comportant au moins un matériau magnéto-calorique agencé pour subir une élévation de température lorsqu'il passe dans ledit premier compartiment soumis au champ magnétique et un refroidissement lorsqu'il passe dans ledit second compartiment non soumis au champ magnétique, en ce que l'on extrait de la  
20 chaleur dudit premier circuit au moyen d'un premier échangeur de chaleur disposé dans ledit circuit et connecté à un circuit d'utilisation de la chaleur, et en ce que l'on extrait du froid dudit second circuit au moyen d'un second échangeur de chaleur disposé dans ledit circuit et connecté à un circuit d'utilisation du froid.

25

De façon avantageuse, l'on fait circuler les premier et second fluide caloporteurs dans le même sens ou en sens inverse dans les compartiments de l'enceinte.

30 Lesdits premier et second fluides caloporteurs peuvent être à l'état liquide ou à l'état gazeux. Ces fluides peuvent être à l'état de suspensions, de boues

appelées couramment "slurry", de nanofluides, de colloïdes par exemple, ou similaires.

Dans ce procédé, l'on inverse la position des moyens magnétiques par rapport aux compartiments de l'enceinte pour générer indifféremment du froid et de la chaleur dans l'un desdits compartiments.

Ce but est également atteint par le dispositif selon l'invention tel que défini en préambule et caractérisé en ce qu'il comprend :

- une enceinte divisée en un premier et un second compartiment juxtaposés et séparés par une cloison, ladite enceinte contenant un élément rotatif, monté transversalement par rapport aux compartiments, tournant autour d'un axe disposé dans le plan de ladite cloison, afin qu'il soit situé simultanément et partiellement dans lesdits premier et second compartiments,

- un premier circuit, dit circuit chaud, connecté audit premier compartiment de ladite enceinte et comprenant un premier échangeur de chaleur, dans lequel circule un premier fluide caloporteur, ledit premier échangeur étant connecté à un circuit d'utilisation de la chaleur,

- un second circuit, dit circuit froid, connecté à audit second compartiment de ladite enceinte et comprenant un second échangeur de chaleur, dans lequel circule un second fluide caloporteur, ledit second échangeur étant connecté à un circuit d'utilisation du froid, et

- des moyens magnétiques pour générer un champ magnétique dans ledit premier compartiment, au moins dans la zone correspondant audit élément rotatif, ledit élément rotatif comportant au moins un matériau magnéto-calorique agencé pour subir une élévation de température lorsqu'il passe dans le premier compartiment soumis au champ magnétique et un refroidissement lorsqu'il passe dans le second compartiment non soumis au champ magnétique.

Selon la forme de réalisation préférée, lesdits moyens magnétiques peuvent comporter des aimants permanents ou des électroaimants ou tout autre moyen

permettant de créer un champ magnétique. Ils peuvent également être agencés pour générer un champ magnétique constant ou variable.

Le dispositif peut comporter des moyens magnétiques complémentaires agencés pour créer un champ magnétique d'isolation isolant le second compartiment du champ magnétique généré par lesdits moyens magnétiques.

De façon avantageuse, lesdits moyens magnétiques sont mobiles, de manière à pouvoir être disposés soit dans une première position dans laquelle ils génèrent un champ magnétique dans l'un desdits compartiments, soit dans une seconde position dans laquelle ils génèrent un champ magnétique dans l'autre desdits compartiments.

Dans un mode de réalisation, lesdits moyens magnétiques comportent des premiers électroaimants agencés pour créer un champ magnétique dans ledit premier compartiment, des seconds électroaimants agencés pour créer un champ magnétique dans ledit second compartiment et des moyens de commande agencés pour activer respectivement les premiers ou les seconds électroaimants.

20

De préférence, les premier et second échangeurs de chaleur sont choisis parmi le groupe constitué par les échangeurs de chaleur du type liquide - liquide, liquide - gaz et gaz - gaz.

Dans la forme de réalisation préférée, le premier circuit comporte une première pompe et le second circuit comporte une seconde pompe, ces pompes étant agencées pour faire circuler respectivement les premier et second fluides caloporteurs dans chacun des compartiments.

Dans toutes les variantes, l'élément rotatif comporte un ensemble de passages traversants, ces passages étant agencés pour permettre la circulation des premier et second fluides caloporteurs dans ledit élément rotatif.

Selon une première forme de réalisation, ledit élément rotatif peut comporter un ensemble de disques empilés, réalisés en des matériaux magnéto-caloriques différents, chaque disque comportant un ensemble de passages communiquant  
5 avec les passages du ou des disques adjacents.

Selon une deuxième forme de réalisation, ledit élément rotatif peut comporter un ensemble d'éléments cylindriques creux emboîtés, réalisés en des matériaux magnéto-caloriques différents, chaque élément cylindrique  
10 comportant un ensemble de passages traversants.

Dans une troisième forme de réalisation, ledit élément rotatif comporte un ensemble de secteurs angulaires emboîtés, réalisés en des matériaux magnéto-caloriques différents, ces secteurs angulaires étant isolés les un des  
15 autres par des éléments thermiquement isolants, et chaque secteur angulaire comportant un ensemble de passages traversants.

Ledit élément rotatif peut également être constitué d'un seul élément de forme cylindrique réalisé en un matériau magnéto-calorique, ledit élément cylindrique  
20 comportant un ensemble de passages débouchant sur ses deux faces.

Dans un mode de réalisation particulier, ledit élément rotatif comporte des secteurs angulaires cloisonnés contenant des grains de forme sensiblement sphérique constitués d'au moins un matériau magnéto-calorique, les passages  
25 traversants étant définis par des interstices ménagés entre les grains.

Les passages traversants peuvent être définis par une structure alvéolaire ou par des tubes creux disposés selon l'axe de l'élément rotatif.

30 Dans une forme de réalisation particulière, lesdits passages traversants sont formés par une structure poreuse dont la porosité est connectée et ouverte.



**Description sommaire des dessins**

La présente invention et ses avantages apparaîtront mieux dans la description suivante de différents modes de réalisation de l'invention, en référence aux dessins annexés, dans lesquels.

5

La figure 1 représente une vue schématique d'une forme de réalisation avantageuse du dispositif selon l'invention,

La figure 2A représente une vue en coupe longitudinale d'une partie du  
10 dispositif de la figure 1,

Les figures 2B et 2C illustrent respectivement des vues en coupe transversale d'une partie du dispositif de la figure 1,

15 Les figures 3A et 3B illustrent respectivement des variantes de réalisation du dispositif selon l'invention,

Les figures 4 à 10 représentent, en coupe axiale, plusieurs formes de réalisation de l'élément rotatif du dispositif selon l'invention,

20

La figure 11 est une vue en coupe longitudinale représentant schématiquement une autre forme de réalisation du dispositif selon l'invention, et

La figure 12 est une vue schématique illustrant une installation comportant  
25 plusieurs dispositifs selon l'invention montés en cascade.

**Manière(s) de réaliser l'invention**

En référence à la figure 1, le dispositif 10 comporte une enceinte 11, comprenant un premier compartiment 12 et un second compartiment 13  
30 juxtaposés et séparés par une cloison 14. Dans cette enceinte est logé un élément rotatif 15 constitué par une roue tournant autour d'un axe 9 disposé sensiblement dans le plan de ladite cloison 14. Un premier circuit 17a, dit circuit

chaud, est connecté au premier compartiment 12 de l'enceinte et comprend un premier échangeur de chaleur 18, dans lequel circule un premier fluide caloporteur, ledit premier échangeur 18 étant par exemple connecté à un circuit d'utilisation de la chaleur 19 ou simplement destiné à évacuer la chaleur. Un  
5 second circuit 17b, dit circuit froid, est connecté au second compartiment 13 de l'enceinte et comprend un second échangeur de chaleur 21, dans lequel circule un second fluide caloporteur, ledit second échangeur 21 étant par exemple connecté à un circuit d'utilisation du froid 22 ou combiné avec une enceinte réfrigérée. Le dispositif 10 est équipé de moyens magnétiques 16 pour générer  
10 un champ magnétique dans le premier compartiment 12, au moins dans la zone correspondant à l'élément rotatif 15. Une première pompe 23 est montée dans le premier circuit 17a et fait circuler le premier fluide caloporteur dans ledit premier circuit et une seconde pompe 24, montée dans le second circuit 17b, fait circuler le second fluide caloporteur dans ledit second circuit.

15 L'élément rotatif 15 qui, dans cette forme de réalisation, est constitué d'un seul élément cylindrique, est monté transversalement par rapport aux deux compartiments 12 et 13 de telle manière qu'il soit situé simultanément et partiellement dans ledit premier compartiment 12 et dans ledit second  
20 compartiment 13. Cet élément rotatif 15 est constitué au moins partiellement d'au moins un matériau magnéto-calorique et comporte des passages traversants 25 débouchant sur ses deux faces et permettant aux deux parties de chaque compartiment 12 et 13 situées de part et d'autre de l'élément rotatif 15 de communiquer entre elles. L'élément rotatif 15 est entraîné en rotation par  
25 un moteur d'entraînement approprié. Sa vitesse de rotation est faible par rapport à la vitesse de circulation des fluides caloporteurs dans les deux circuits et dans les passages traversants 25. De ce fait, seule une très faible partie du fluide caloporteur refroidi dans la partie de l'élément rotatif 15 hors du champ magnétique pénètre dans la zone soumise au champ magnétique et  
30 réciproquement. La "perte" due au transfert de fluide d'un des circuits dans l'autre par l'intermédiaire de l'élément rotatif est infime.

Les figures 2A, 2B et 2C illustrent plus en détail le positionnement des moyens magnétiques 16. L'enceinte 11 est pourvue d'une paroi 11a et comprend une cloison centrale 14 servant à délimiter les deux compartiments 12 et 13 réalisée en un matériau thermiquement isolant, disposée dans le plan médian de l'enceinte 11. Cette cloison 14 est discontinue et disposée dans le plan de l'axe de rotation 9 de l'élément rotatif 15. Chacune des extrémités des deux compartiments 12 et 13 est ouverte pour être connectée à un conduit du circuit du fluide caloporteur correspondant. Les moyens magnétiques 16, qui peuvent être constitués soit d'aimants permanents, soit d'électroaimants, sont disposés de part et d'autre de la partie de l'élément rotatif 15 qui se situe dans le premier compartiment 12. A cet effet, ces moyens magnétiques 16 sont de préférence disposés en dessous et contre le plan médian passant par la cloison 14.

L'élément rotatif 15 est monté coaxialement dans l'enceinte 11 sur l'axe 9 passant par le plan médian séparant les deux compartiments 12 et 13. Cet axe 9 est disposé de façon à permettre la rotation de l'élément rotatif 15 au moyen d'un moteur d'entraînement (non représenté). Le diamètre de l'élément rotatif 15 et le diamètre intérieur de l'enceinte 11 sont définis de sorte que ces deux organes ne laissent qu'un faible espace entre eux. Ceci permet de limiter le flux du fluide caloporteur qui pourrait passer à travers cet espace pendant le fonctionnement du dispositif 10. A cet effet, l'élément rotatif peut comporter, sur sa périphérie, un élément d'étanchéité tel qu'un joint. Des joints peuvent également être placés sur les bords intérieurs de la cloison 14 pour rendre les deux compartiments 12 et 13 étanches. Les passages traversants 25 de l'élément rotatif 15 débouchent à leurs deux extrémités sur chacune des faces de l'élément 15 afin que ces passages communiquent avec chacune des deux parties de chaque compartiment 12, 13 situées de part et d'autre dudit élément rotatif 15. Ces passages 25 peuvent être définis par une structure alvéolaire de type nid d'abeille ou formés par des tubes creux parallèlement à l'axe 9 de l'élément rotatif 15. Ils peuvent également être définis par une structure poreuse du matériau de l'élément rotatif 15.

Les figures 2B et 2C représentent deux constructions différentes du dispositif 10. Les moyens magnétiques 16 sont soit intégrés à la paroi 11a, comme le montre la figure 2B, soit disposés à l'extérieur de cette paroi, comme le montre la figure 2C.

5

Le fonctionnement du dispositif 10 est basé sur le procédé dans lequel l'élément rotatif 15 étant mis en rotation au moyen d'un moteur d'entraînement (non représenté), la partie dudit élément rotatif 15 située dans le champ magnétique généré par les moyens magnétiques 16 perd son entropie en subissant une élévation de température. Dans le même temps, le premier fluide caloporteur du circuit 17a mis en mouvement par la première pompe 19 et circulant dans le sens inverse du second fluide caloporteur du second circuit 17b, entre dans le premier compartiment 12 à une température  $T_{c1}$  donnée et traverse, par l'intermédiaire des passages traversants 25, la partie de l'élément rotatif 15 soumise à l'élévation de température. Le premier fluide caloporteur subit dans cette partie de l'élément rotatif 15 une élévation de température par transfert de chaleur. A la sortie du premier compartiment 12, ledit fluide caloporteur a alors une température  $T_{c2}$  supérieure à  $T_{c1}$ . Le fluide caloporteur du circuit d'utilisation de la chaleur 19 entre dans le premier échangeur de chaleur 18 à une température  $T_{cs1}$  et subit à son tour une élévation de température par échange de chaleur avec le premier fluide caloporteur ayant traversé l'enceinte 11 et chauffé par son passage dans le compartiment 12. Le fluide du circuit d'utilisation de la chaleur 19 ressort dudit premier échangeur de chaleur 18 à une température  $T_{cs2}$  supérieure à  $T_{cs1}$ . La chaleur emmagasinée par ce fluide caloporteur peut être utilisée pour n'importe quelle application. Elle peut également être simplement évacuée dans l'atmosphère ambiante.

20

25

30

Pendant qu'une première partie de l'élément rotatif 15 est soumise à une rotation et subit une élévation de température en passant dans le champ magnétique généré par les moyens magnétiques 16, une seconde partie de l'élément rotatif 15 située hors dudit champ magnétique se démagnétise en se refroidissant. Lorsque ladite première partie quitte le champ magnétique par

rotation de l'élément rotatif en se démagnétisant et se refroidissant, cette seconde partie est à son tour exposée au champ magnétique et perd son entropie en subissant une élévation de température. La partie précédemment soumise à une élévation de température quitte le champ magnétique généré par les moyens magnétiques 16, et se démagnétise en se refroidissant jusqu'à une température donnée. Dans le même temps, le second fluide caloporteur circulant dans le second circuit 17b dit circuit froid, mis en circulation par la seconde pompe 24, entre dans le second compartiment 13 à une température  $T_{f1}$  donnée et traverse, par l'intermédiaire des passages traversants 25 de l'élément rotatif 15, ladite partie de l'élément soumise à un refroidissement. Ce second fluide caloporteur subit un refroidissement dans cette partie de l'élément rotatif 15 et sort du compartiment 13 à une température  $T_{f2}$  inférieure à  $T_{f1}$ . Par ailleurs, le fluide du circuit d'utilisation du froid 22 entre dans le second échangeur de chaleur 21 à une température  $T_{fs1}$  et subit à son tour un refroidissement par échange de chaleur avec le second fluide caloporteur ayant traversé l'enceinte 11 et refroidi par son passage dans le compartiment 13. Ce fluide ressort dudit second échangeur de chaleur 21 à une température  $T_{fs2}$  inférieure à  $T_{fs1}$  pour être utilisé. Le froid emmagasiné par ce fluide peut être utilisé dans n'importe quelle application du froid, notamment pour le refroidissement d'une armoire frigorifique, d'un circuit de climatisation ou similaire.

La rotation de l'élément rotatif 15 renouvelle alternativement ce cycle de fonctionnement en générant de la chaleur dans le premier échangeur de chaleur 18 et du froid dans le second échangeur de chaleur 21. Pour obtenir un fonctionnement en continu, l'élément rotatif 15 est entraîné à une vitesse de rotation définie en fonction de l'application ainsi que de l'amplitude du champ magnétique et du débit du fluide caloporteur traversant ledit élément rotatif 15.

Le premier fluide caloporteur circulant dans le premier circuit 17a et le second fluide caloporteur circulant dans le second circuit 17b peuvent être différents ou identiques. Ils peuvent en outre être soit à l'état gazeux soit à l'état liquide ou

être à des états différents selon les applications. En outre, les fluides circulant dans les circuits d'utilisation de la chaleur 19 et du froid 22 peuvent être soit à l'état gazeux soit à l'état liquide, selon les applications. De ce fait, les échangeurs de chaleur 18 et 21 de ce dispositif 10 peuvent être de n'importe quel type connu selon l'état du fluide caloporteur. Ils peuvent être du type  
5 liquide - liquide, liquide - gaz ou du type gaz - gaz. A la place de chacun des échangeurs 18 et 21, l'on peut disposer n'importe quel dispositif générant respectivement de la chaleur ou du froid, comme par exemple un radiateur, une pompe à chaleur, un réfrigérateur, un dispositif de climatisation. Il est  
10 également possible de faire circuler le fluide du circuit d'utilisation de la chaleur 19 dans le circuit chaud 17a à la place du premier fluide caloporteur pour être directement chauffé dans la partie chaude de l'élément rotatif 15, et de faire circuler le fluide du circuit d'utilisation du froid 22 dans le circuit froid 17b à  
15 place du second fluide caloporteur pour être directement refroidi dans la partie froide de l'élément rotatif 15. Dans ce cas, le dispositif ne comporte plus d'échangeurs de chaleur.

Les figures 3A et 3B représentent schématiquement une variante du dispositif de la figure 1. Ce dispositif diffère du dispositif 10 de la figure 1 en ce qu'il  
20 comporte des moyens magnétiques 16 mobiles qui, lorsqu'ils sont placés dans une première position  $P_1$ , c'est-à-dire solidaires du compartiment 13 (fig. 3A) ou dans une seconde position  $P_2$ , c'est-à-dire solidaires du compartiment 12 (fig. 3B), permettent d'invertir les circuits générant le froid et la chaleur selon les besoins. Les deux positions  $P_1$  et  $P_2$  sont symétriques l'une de l'autre par  
25 rapport au plan de la cloison 14. Dans cette variante, les moyens magnétiques 16 sont pourvus d'éléments de fixation 26, tels qu'un axe en U, dont le pivotement de  $180^\circ$  ou la translation, par des moyens de commande connus en soi, permet de passer d'une position à l'autre. De cette manière, un circuit  
30 générant du froid lorsque les moyens magnétiques 16 sont dans la position  $P_1$ , génère de la chaleur lorsque ces moyens magnétiques 16 sont placés dans la position  $P_2$  et un circuit générant de la chaleur lorsque les moyens magnétiques

16 sont dans la position  $P_1$ , génère du froid lorsque ces moyens magnétiques 16 sont placés dans la position  $P_2$ .

Lorsque les moyens magnétiques 16 sont placés dans la position  $P_1$ , la partie  
5 de l'élément rotatif 15 soumise à une élévation de température par effet magnétique se situe dans le second compartiment 13. Le premier fluide caloporteur circulant dans le second circuit 17b s'échauffe. L'échangeur de chaleur 21 fonctionne alors comme une source de chaleur et délivre de la chaleur à n'importe quel fluide le traversant. Dans le même temps, la partie de  
10 l'élément rotatif 15 qui se démagnétise en se refroidissant se situe dans le premier compartiment 12. Le premier fluide caloporteur circulant dans le premier circuit 17a se refroidit. L'échangeur de chaleur 18 fonctionne alors comme une source génératrice de froid et peut délivrer du froid à sa sortie.

15 En revanche, lorsque les moyens magnétiques 16 sont placés dans la position  $P_2$  par exemple par un pivotement de  $180^\circ$ , la partie de l'élément rotatif 15 qui se démagnétise en se refroidissant se situe dans le second compartiment 13. Le second fluide caloporteur circulant dans le second circuit 17b se refroidit. L'échangeur de chaleur 21 fonctionne alors comme une source génératrice de  
20 froid et délivre du froid à n'importe quel fluide le traversant. Dans le même temps également, la partie de l'élément rotatif 15 soumise à une élévation de température par effet magnétique se situe dans le premier compartiment 12. Le premier fluide caloporteur circulant dans le premier circuit 17a s'échauffe. L'échangeur de chaleur 18 fonctionne alors comme une source de chaleur et  
25 peut délivrer de la chaleur à sa sortie.

Lorsque les moyens magnétiques 16 sont des électroaimants, les mêmes moyens magnétiques 16 fixés pour générer un champ magnétique dans le premier compartiment 12 peuvent être également fixés en double dans une  
30 position symétrique par rapport au plan séparant les deux compartiments 12 et 13 pour générer un champ magnétique dans le second compartiment 13. Ces moyens magnétiques 16 peuvent être activés séparément par une même

commande qui génère un champ magnétique dans l'un ou l'autre des compartiments 12 ou 13 selon la position de cette commande. Il est également possible de prévoir des moyens magnétiques générant un champ magnétique variable pour faire varier les températures des fluides caloporteurs qui le traversent.

Les figures 4 à 10 illustrent schématiquement des variantes de réalisation de l'élément rotatif 15 du dispositif selon l'invention.

- 10 Dans la forme de réalisation représentée par la figure 4, l'élément rotatif 15 est constitué de plusieurs disques 30 montés coaxialement. Ces disques ont le même diamètre et peuvent être de même épaisseur ou d'épaisseurs différentes. Ils sont soit collés par leurs faces, soit assemblés par n'importe quel moyen approprié. Chaque disque comporte un ensemble de passages
- 15 traversants 25 qui communiquent avec les passages du ou des disques adjacents pour déboucher sur chaque face de l'élément rotatif 15 ainsi formé. Chaque disque est constitué d'un matériau magnéto-calorique différent. Le nombre des disques dépend du nombre des matériaux magnéto-caloriques devant constituer l'élément rotatif 15. Ces matériaux sont définis en fonction de
- 20 l'application du dispositif 10 de génération du froid et de la chaleur. Pour une application donnée, les matériaux magnéto-caloriques sont choisis en fonction de leurs températures de Curie. Ces températures correspondent en effet à certains paramètres requis pour atteindre les températures qu'exige l'application. Les matériaux magnéto-caloriques dont la température de Curie
- 25 est comprise entre 0°C et -5°C sont par exemple appropriés pour des applications de climatisation, ceux dont la température de Curie est comprise entre 40°C et 70°C, et de préférence les matériaux magnéto-caloriques dont la température de Curie est d'environ 60°C, sont appropriés pour des applications de chauffage et les matériaux magnéto-caloriques dont la température de Curie
- 30 est comprise entre -10°C et 70°C sont appropriés pour le stockage de l'énergie.



Dans la forme de réalisation représentée par la figure 5, l'élément rotatif 15 est constitué de plusieurs éléments cylindriques creux 40, réalisés chacun en un matériau magnéto-calorique différent, montés de manière concentrique. Ces éléments cylindriques ont une même hauteur et leurs diamètres intérieurs et extérieurs sont définis de sorte que chaque élément s'imbrique dans l'élément adjacent. Le diamètre extérieur du plus grand élément cylindrique creux 40 constitue le diamètre de l'élément rotatif résultant et le trou à l'intérieur du plus petit élément cylindrique creux correspond à l'alésage par lequel passe l'axe 9 sur lequel est monté l'élément rotatif 15. Les passages traversants 25 sont ménagés dans l'épaisseur de chaque cylindre.

L'élément rotatif 15, illustré par la figure 6, est constitué de plusieurs secteurs angulaires 50 réalisés chacun en un matériau magnéto-calorique différent. Ces éléments, d'angles au sommet égaux, ont le même rayon et la même hauteur correspondant au rayon et à la hauteur de l'élément rotatif 15. Chaque secteur 50 comporte des passages traversants 25 qui peuvent être obtenus par exemple par une structure du type quadrillage fin. Des éléments thermiquement isolants 26 peuvent être montés entre les différents secteurs pour mieux isoler la partie de l'élément rotatif 15 subissant le refroidissement de sa partie subissant une élévation de température. Ceci a pour but d'augmenter l'efficacité du dispositif de l'invention en empêchant respectivement les déperditions du froid et de la chaleur générées.

Dans la forme de réalisation illustrée par la figure 7, l'élément rotatif 15 est constitué de cavités 60 remplies de grains 27 constitués d'un matériau magnéto-calorique. Ces cavités peuvent se présenter sous forme de secteurs angulaires séparés par des éléments thermiquement isolants 26. Les passages traversants 25 sont définis par les interstices définis entre les grains 27. Ces interstices communiquent entre eux pour déboucher sur les deux faces de l'élément rotatif 15. Ces deux faces sont recouvertes par une paroi mince (non représentée) comportant des mailles de dimensions inférieures à celles des grains 27 de plus petite taille. Cette paroi n'est pas nécessaire si les grains 27

sont assemblés par un liant. Les grains 27 peuvent avoir n'importe quelle forme et n'importe quelles dimensions. Leur dimension moyenne est de préférence comprise entre 0,4 mm et 0,9 mm. Ils peuvent être de même taille et de même forme ou de formes et de tailles différentes. Ils peuvent également être  
5 constitués en un même matériau magnéto-calorique ou en des matériaux magnéto-caloriques différents. Chaque cavité peut contenir des grains de même matériau magnéto-calorique, les matériaux différant d'une cavité à une autre ou un mélange de grains de matériaux magnéto-caloriques différents, les mélanges variant également d'une cavité à une autre. Il est bien évident que  
10 les disques 30 et les éléments cylindriques creux 40, des formes de réalisation précédemment décrites pourraient également être constitués de cavités remplies de grains 27.

Dans la forme de réalisation illustrée par la figure 8, l'élément rotatif 15 est  
15 composé d'un ensemble d'éléments tubulaires coaxiaux 70 espacés entre eux et dont les espaces sont remplis par une structure plissée 71 qui définit une multitude de passages traversants 25. Cette structure peut être réalisée en un matériau magnéto-calorique ou peut servir de support à de tels matériaux.

20 La figure 9 représente une autre forme de réalisation dans laquelle l'élément rotatif 15 comporte un élément annulaire intérieur 15a et un élément annulaire extérieur 15b coaxiaux. L'enceinte est définie par un canal intérieur 80a disposé entre les deux éléments et par un canal extérieur 80b ménagé à la périphérie de l'élément 15b. Les moyens magnétiques se décomposent en une  
25 paire d'aimants intérieurs 81a coopérant avec l'élément intérieur 15a et une paire d'aimants extérieurs 81b coopérant avec l'élément extérieur 15b. Cette disposition permet d'améliorer la pénétration du champ magnétique et son action sur les matériaux magnéto-caloriques, donc d'accroître l'efficacité du dispositif.

30

Une autre forme de réalisation est représentée par la figure 10. Les moyens magnétiques sont décomposés en segments angulaires respectivement

segments angulaires intérieurs 90a et segments angulaires extérieurs 90b. Le champ magnétique n'est pas limité à un secteur correspondant à un demi-cercle, mais est localisé par secteurs angulaires tout autour de l'élément rotatif.

- 5 La figure 11 illustre une variante dans laquelle les moyens magnétiques sont logés dans l'enceinte 11 et plus précisément à l'intérieur du premier compartiment 12. Ils sont constitués d'au moins une paire d'aimants 100 pourvus d'orifices de passage 101 du fluide caloporteur.
- 10 La figure 12 représente schématiquement un arrangement complexe constitué d'un ensemble de dispositifs selon l'invention montés en cascade. Dans l'exemple représenté cet arrangement comporte quatre dispositifs 110, 120, 130 et 140 comprenant respectivement les éléments rotatifs 115, 125, 135 et 145 en matériaux magnéto-caloriques. Le fluide caloporteur du circuit froid 17b
- 15 est amené à l'entrée froide de l'élément rotatif 115 puis est décomposé à la sortie de cet élément en deux courants 17b<sub>1</sub> qui est amené à l'entrée froide du deuxième élément rotatif 125 et 17b<sub>2</sub> qui est amené à l'entrée chaude du deuxième élément rotatif 125. Il en est de même dans tous les autres éléments rotatifs. Toutefois une circulation inverse peut être produite lorsque les
- 20 températures atteintes sont appropriées. Elle est représentée par les flèches en traits interrompus 125e, 135e et 145e.

Un tel arrangement permet d'augmenter considérablement l'efficacité du dispositif et d'accroître le rendement thermique d'une installation de génération

25 de froid utilisant l'effet magnéto-calorique.

## REVENDECATIONS

1. Procédé pour générer du froid et de la chaleur par effet magnétique à travers au moins un échangeur de chaleur, caractérisé en ce que l'on fait  
5 circuler un premier fluide caloporteur dans un premier circuit (17a), dit circuit chaud, connecté à un premier compartiment (12) d'une enceinte (11) contenant un élément rotatif (15) et un second fluide caloporteur dans un second circuit (17b), dit circuit froid, connecté à un second compartiment (13) de ladite enceinte (11), lesdits compartiments étant juxtaposés et  
10 séparés par une cloison (14), ladite enceinte (11) étant associée à des moyens magnétiques (16) pour générer un champ magnétique dans ledit premier compartiment (12), au moins dans la zone correspondant audit élément rotatif (15) et ledit élément rotatif (15) comportant au moins un matériau magnéto-calorique agencé pour subir une élévation de  
15 température lorsqu'il passe dans ledit premier compartiment (12) soumis au champ magnétique et un refroidissement lorsqu'il passe dans ledit second compartiment (13) non soumis au champ magnétique, en ce que l'on extrait de la chaleur dudit premier circuit (17a) au moyen d'un premier échangeur de chaleur (18) disposé dans ledit circuit (17a), ledit premier échangeur  
20 étant connecté à un circuit d'utilisation de la chaleur (19), et en ce que l'on extrait du froid dudit second circuit (17b) au moyen d'un second échangeur de chaleur (21) disposé dans ledit circuit (17b), ledit second échangeur étant connecté à un circuit d'utilisation du froid (21).
- 25 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on fait circuler les premier et second fluides caloporteurs dans les compartiments (12, 13) de l'enceinte (11).
- 30 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que premier et second fluides caloporteurs sont à l'état liquide ou à l'état gazeux.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on inverse la position des moyens magnétiques (16) par rapport aux compartiments (12, 13) de l'enceinte pour générer indifféremment du froid et de la chaleur dans l'un desdits compartiments.

5

5. Dispositif pour générer du froid et de la chaleur par effet magnéto-calorique comportant au moins un échangeur de chaleur, caractérisé en ce qu'il comprend :

- 10 - une enceinte (11) divisée en un premier et un second compartiment (12, 13) juxtaposés et séparés par une cloison (14), ladite enceinte (11) contenant un élément rotatif (15) monté transversalement par rapport aux compartiments (12, 13) et tournant autour d'un axe disposé dans le plan de la cloison (14), afin qu'il soit situé simultanément et partiellement dans lesdits premier et second compartiments (12, 13),
- 15 - un premier circuit (17a), dit circuit chaud, connecté audit premier compartiment (12) de ladite enceinte (11) et comprenant un premier échangeur de chaleur (18), dans lequel circule un premier fluide caloporteur, ledit premier échangeur étant connecté à un circuit d'utilisation de la chaleur (19),
- 20 - un second circuit (17b), dit circuit froid, connecté audit second compartiment (13) de ladite enceinte (11) et comprenant un second échangeur de chaleur (21), dans lequel circule un second fluide caloporteur, ledit second échangeur étant connecté à un circuit d'utilisation du froid (22), et
- 25 - des moyens magnétiques (16) pour générer un champ magnétique dans ledit premier compartiment (12), au moins dans la zone correspondant audit élément rotatif (15), ledit élément rotatif comportant au moins un matériau magnéto-calorique agencé pour subir une élévation de température lorsqu'il passe dans le premier compartiment (12) soumis au
- 30 champ magnétique et un refroidissement lorsqu'il passe dans le second compartiment (13) non soumis au champ magnétique.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens magnétiques (16) comportent des aimants permanents.

7. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens magnétiques (16) comportent des électroaimants.

8. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens magnétiques (16) sont agencés pour générer un champ magnétique variable.

9. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens magnétiques complémentaires (16a) agencés pour créer un champ magnétique d'isolation isolant le second compartiment (13) du champ magnétique généré par lesdits moyens magnétiques (16).

10. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens magnétiques (16) sont mobiles, de manière à pouvoir être disposés soit dans une première position ( $P_1$ ) dans laquelle ils génèrent un champ magnétique dans l'un desdits compartiments (12, 13), soit dans une seconde position ( $P_2$ ) dans laquelle ils génèrent un champ magnétique dans l'autre desdits compartiments (12, 13).

11. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que lesdits moyens magnétiques (16) comportent des premiers électroaimants agencés pour créer un champ magnétique dans ledit premier compartiment (12), des seconds électroaimants agencés pour créer un champ magnétique dans ledit second compartiment (13) et des moyens de commande agencés pour activer respectivement les premiers ou les seconds électroaimants.

12. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits premier et second échangeurs de chaleur (18, 21) sont choisis parmi le groupe

constitué par les échangeurs de chaleur du type liquide - liquide, liquide - gaz et gaz - gaz.

- 5 13. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que le premier circuit (17a) comporte une première pompe (19), en ce que le second circuit (17b) comporte une seconde pompe (22) et en ce que ces pompes sont agencées pour faire circuler respectivement les premier et second fluides caloporteurs dans chacun des compartiments (12, 13).
- 10 14. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit élément rotatif (15) comporte un ensemble de passages traversants (25), ces passages étant agencés pour permettre la circulation des premier et second fluides caloporteurs dans ledit élément rotatif.
- 15 15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que ledit élément rotatif (15) comporte un ensemble de disques (30) empilés, réalisés en des matériaux magnéto-caloriques différents, chaque disque comportant un ensemble de passages (25) communiquant avec les passages du ou des disques adjacents.
- 20 16. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que ledit élément rotatif (15) comporte un ensemble d'éléments cylindriques creux (40) emboîtés, réalisés en matériaux magnéto-caloriques différents, chaque élément cylindrique (40) comportant un ensemble de passages traversants
- 25 (25).
- 30 17. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que ledit élément rotatif (15) comporte un ensemble de secteurs angulaires (50) emboîtés, réalisés en des matériaux magnéto-caloriques différents, ces secteurs angulaires (50) étant isolés les uns des autres par des éléments thermiquement isolants (26), et chaque secteur angulaire comportant un ensemble de passages traversants (25).

18. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que ledit élément rotatif (15) est constitué d'un seul élément de forme cylindrique réalisé en un matériau magnéto-calorique, ledit élément cylindrique comportant un ensemble de passages (25) débouchant sur ses deux faces.

19. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que ledit élément rotatif (15) comporte des secteurs angulaires cloisonnés (60) contenant des grains (27) de forme sensiblement sphérique constitués d'au moins un matériau magnéto-calorique, et en ce que les passages traversants (25) sont définis par des interstices ménagés entre les grains (27).

20. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que lesdits passages traversants (25) sont formés par une structure alvéolaire.

21. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que lesdits passages traversants (25) sont formés par des tubes creux disposés selon l'axe de l'élément rotatif (15).

22. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que lesdits passages traversants (25) sont formés par une structure poreuse.

23. Procédé pour générer du froid et de la chaleur par effet magnétique à travers au moins un échangeur de chaleur, caractérisé en ce que l'on fait circuler un premier fluide caloporteur dans un premier circuit (17a), dit circuit chaud, connecté à un premier compartiment (12) d'une enceinte (11) contenant un élément rotatif (15) et un second fluide caloporteur dans un second circuit (17b), dit circuit froid, connecté à un second compartiment (13) de ladite enceinte (11), lesdits compartiments étant juxtaposés et séparés par une cloison (14), ladite enceinte (11) étant associée à des moyens magnétiques (16) pour générer un champ magnétique dans ledit premier compartiment (12), au moins dans la zone correspondant audit



élément rotatif (15) et ledit élément rotatif (15) comportant au moins un matériau supraconducteur agencé pour subir une élévation de température lorsqu'il passe dans ledit premier compartiment (12) soumis au champ magnétique et un refroidissement lorsqu'il passe dans ledit second compartiment (13) non soumis au champ magnétique, en ce que l'on extrait de la chaleur dudit premier circuit (17a) au moyen d'un premier échangeur de chaleur (18) disposé dans ledit circuit (17a), ledit premier échangeur étant connecté à un circuit d'utilisation de la chaleur (19), et en ce que l'on extrait du froid dudit second circuit (17b) au moyen d'un second échangeur de chaleur (21) disposé dans ledit circuit (17b), ledit second échangeur étant connecté à un circuit d'utilisation du froid (21).